

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Návrh a zhodnocení vlivu předpínatelných lanových kotev na stabilitu
důlních děl z hlediska časového vývoje.

Design and evaluation of the impact of pretensionable cablebolts on
the stability of mining works in the terms of temporal evolution

Autoreferát disertační práce

Ing. et Ing. Pavel Dvořák

Školitel: Doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.

Studijní program: P3655 – Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607V035 – Geotechnika

Ostrava 2019

Disertační práce byla vypracována v kombinované formě studia na:

Katedře geotechniky a podzemního stavitelství

Fakulty stavební

VŠB-TU Ostrava

Předkladatel:		Ing. et Ing. Pavel Dvořák
		Katedře geotechniky a podzemního stavitelství
		Fakulty stavební, VŠB-TU Ostrava
		Ludvíka Podéště 1875
		708 33 Ostrava Poruba
Školitel:		Doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.
		Katedra geotechniky a podzemního stavitelství
		Fakulty stavební, VŠB-TU Ostrava
		Ludvíka Podéště 1875
		708 33 Ostrava Poruba
Oponenti:		

Autoreferát byl rozeslán dne

Obhajoba disertační práce se koná dnevhodin před komisí pro obhajobu doktorské disertační práce postgraduálního studia v oboru 3607V035 Geotechnika v zasedací místnosti děkana Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava.

S disertační prací je možno se seznámit na studijním oddělení Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava na Ludvíka Podéště 1875, 708 33 Ostrava – Poruba

© Pavel Dvořák 2019

ISBN 978-80-248-4232-5

Anotace

Předložená práce se zaměřuje obecně na kotvení podzemních konstrukcí se zvláštním zaměřením na tzv. vysoké kotvení v hlubinném černouhelném hornictví Ostravsko-karvinského revíru při zesilování výztuže dlouhých důlních děl. Práce se zabývá teorií kotvení, vlivem kotvení na konstrukci a horský masiv, ztrátami předpětí v kotvách a chováním kotev přímo v důlních podmínkách.

Pro dosažení výše uvedených cílů bylo na několika dlouhých důlních dílech v Ostravsko-karvinském revíru prováděno měření sil v kotvách a konvergencí profilů důlních děl. Měření ztrát předpětí v čase a výše vstupního předpětí probíhalo pomocí laboratorního modelu.

Cílem této práce je nejen vyhodnocení získaných a zpracovaných poznatků z chování lanových, či pramencových kotev při vedení důlních děl a následném dobývání souvisejících porubů, ale i doporučení pro technologii vysokého kotvení k její vyšší efektivitě. Zvláštní pozornost je věnována problematice krátkodobých a dlouhodobých ztrát předpětí v kotevních prvcích a jejich omezení.

The thesis is focused generally on anchoring of underground structures with particular focus on the so-called „high anchoring“ in Ostrava-Karviná coalfield by strenghtening the steel arch support of mine workings. The work deals with anchoring theory, anchoring influence on the construction, respectively rock mass and losses of prestressing in the anchors, including some practical experience with cable bolts behaviour in real conditions of coal mines.

To achieve the following goals forces in the anchors and convergence of profiles of mine workings have been measured in several workings in the Ostrava-Karvina coalfield. Prestressing losses have been measured using a laboratory model.

The aim of this work is not only the evaluation of the learned and processed experience from the cablebolts in mine workings and related coal face extraction, but also recommendations for higher efficiency of high anchoring considering the conditions of application and reduction of prestressing losses.

Klíčová slova

Kotvení, svorníkování, geotechnika, lanová kotva, předpětí, ztráty předpětí, kotevní tmel, důlní dílo, Ostravsko-karvinský revír, ocelová oblouková výztuž, stropnice, vrtací zařízení, přídatná zatížení.

Keywords

Anchoring, bolting, geotechnics, cablebolt, pre-tension, losses of pre-tension, bolt resin, mine working, Ostrava-Karviná coalfield, steel arch support, steel bar, drilling device, abutment.

Poděkování:

Děkuji svému školiteli doc. Ing. Karlu Vojtasíkovi, CSc. za jeho čas a cenné rady ke směřování mé práce. Děkuji také Ing. Zdeňku Sembolovi a Ing. Liboru Mazalovi, projektantům z odboru přípravy výroby OKD, a.s., Ing. Robertu Vochtovi, Ph.D., vedoucímu oddělení důlního měřictví a geologie a Ing. Jiřímu Korbelovi, vedoucímu projektu Room and Pillar z Důlního závodu 2, OKD, a.s. Velký dík jim patří za možnost získat cenné zkušenosti při vysokém kotvení a svorníkování a při dalším rozvoji a rozšiřování těchto technologií. Dále bych rád poděkoval svému zaměstnavateli, společnosti Minova Bohemia s.r.o., za to, že mi vyšel vstříc při plnění povinností, souvisejících se studiem.

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. Cíle práce a použité podklady	8
3. Metodika zpracování práce	9
4. Napjatost v okolí výrubu	10
5. Kotevní prvky používané v černouhelných hlubinných dolech v současnosti.....	11
5.1. Tyčové kotevní prvky.....	11
5.2. Lanové a pramencové kotevní prvky s příslušenstvím	12
6. Instalace kotevních prvků a jejich aktivace.....	13
7. Prostředky monitoringu pro sledování stavu horského masivu a výztuže	14
8. Ztráty předpětí	15
9. Chování vysokého kotvení na vybraných pracovištích v dolech OKD, a.s.	16
10. Nežádoucí jevy při vysokém kotvení a návrhy jejich řešení.....	17
10.1. Vedení ražeb se vznikem nadvýlomů.....	17
10.2. Nevhodné propojení kotvy a stropnice.....	17
10.3. Nevhodné časování provedení kotvení	18
10.4. Nedostatečně navržený projekt a nezajištění vstupních okrajových podmínek	20
10.5. Nedostatečný monitoring důlních děl	20
10.6. Tuhost kotevních prvků.....	22
10.7. Ztráty předpětí a jeho dosah	22
10.8. Nedostatky při samotné instalaci.....	23
11. Závěrečné zhodnocení.....	25
12. Závěr.....	28
LITERATURA.....	29
SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ	32

1. ÚVOD

Kotvení je progresivní metoda k zajištění nebo zvýšení stability konstrukce s využitím vlastností okolního prostředí. Často není již mnoho možností vybírat místo pro konstrukci tak, aby geotechnické podmínky byly jednoduché nebo prostorové podmínky dovozovaly dostatečně mohutnou a únosnou konstrukci samu o sobě. Investor je často nucen využívat plochy s nevhodnými základovými poměry, se zvýšenými přítoky vody, s výskytem tektonických pásem aj. To vše klade zvýšené požadavky na odolnost a únosnost konstrukce. Aby tato nemusela být příliš objemná a nákladná, využívá se k její realizaci s úspěchem jejího spojení s okolním prostředím pomocí kotevních prvků.

Kotvení jako uměle vnesený prvek umožňuje projektantovi takové konstrukce volbu směru a působící síly tak, aby navržená konstrukce byla co nejefektivnější z hlediska rozměrů, finančních nákladů, spotřeby materiálu, stupně bezpečnosti aj. Pomocí kotvení je možno využít vlastností okolního horského prostředí a zároveň vlivem vneseného předpětí měnit i smykové parametry prostředí. Horninové prostředí se tak stává naprosto přirozenou součástí celé řady staveb a je schopno svými vlastnostmi významně napomoci stabilitě konstrukcí v něm umístěných.

Kotvení má využití v celé řadě odvětví lidské činnosti jako je podzemní a dopravní stavitelství, zakládání staveb, hornictví a mnoho dalších.

K zajištění a sledování funkčnosti kotvení slouží široká škála prostředků geotechnického monitoringu, jako jsou dynamometry, extenzometry, přístroje pro měření konvergencí výrubů tunelů, kaveren nebo důlních děl a další.

Předložená práce se prakticky zaměřuje právě na rozvíjející se trend tzv. „vysokého kotvení“ v hlubinných černouhelných dolech Ostravsko-karvinského revíru (dále jen OKR). V době psaní této disertační práce (rok 2016) probíhá dobývání převážně v hloubkách přes 1000 metrů pod povrchem, často v oblastech s výskytem silných seismologických jevů, v oblastech zvýšených napětí od předchozí hornické činnosti nebo v oblastech se složitými geologickými podmínkami. To vše klade na standardní ocelovou obloukovou výztuž stále větší a větší nároky, které tato, i přes zvyšování hmotnostních stupňů, není schopna účinně přenášet.

Právě technologie vysokého kotvení se zdá být tou cestou, jak podpořit a udržet stávající výztuž. Technologie vysokého kotvení spočívá v přímém zavěšení stropních vrstev pomocí

dlouhých pramencových nebo lanových kotev do vyššího, neporušeného nadloží. Používá se primárně tam, kde se očekávají zvýšené tlaky na stávající ocelovou obloukovou (nebo jinou) výztuž.

Technologie vysokého kotvení je v současné době relativně mladou metodou, první práce s dlouhými kotevními prvky začaly v OKR v letech 2008-2009. Při rozvoji této technologie vyvstaly také otázky spojené s vhodností nasazení v určitých podmínkách, jako jsou mocné nebo naopak málo mocné (nízké) sloje, oblasti s výskytem silných seismologických jevů a s tím spojené dynamické namáhání výztužních prvků nebo použití této technologie pro zajišťování důlních děl při průchodu tektonicky porušených pásem.

2. CÍLE PRÁCE A POUŽITÉ PODKLADY

Hlavním cílem práce je popsat fungování vysokého kotvení a částečně klasického svorníkování v podmínkách hlubinných černouhelných dolů v OKR. To zahrnuje nejen popis použité kotevní a vrtné techniky, ale i metodiky provádění tohoto způsobu kotvení a vyhodnocení jejího fungování s ohledem na různé podmínky nasazení. Součástí cíle je poukázat na omezení této technologie, chyby při jejím provádění a předložit návrhy na odstranění těchto chyb. Práce si klade za cíl pojmenovat a vysvětlit i některé rozpory mezi projekčními návrhy a následnou realizací a výslednou funkčností.

Při řešení těchto úkolů využíval autor své zkušenosti z důlních pracovišť na dolech společnosti OKD, a.s. Zde v souvislosti s výkonem svého povolání jako obchodně-technický zástupce společnosti Minova Bohemia s.r.o. se podílel v letech 2012 až 2016 na zavádění technologie vysokého kotvení a svorníkování v různých podmínkách, řešil vrtací techniku a příslušenství, potřebné množství a skladbu kotevního tmele pro uchycení lanové nebo pramencové kotvy, případně krátkého svorníku ve vývrtu. Dále měl a má ve své agendě realizaci samotného vysokého kotvení v rámci společnosti „Vysoké kotvení“.

Autor se dále podílel na realizaci monitorovacích míst, jak pro nově zaváděnou metodu Room and Pillar (dále jen RP) na Důlním závodě 2 (dále jen DZ2), tak i pro sledování chodeb pro tzv. dvojí použití rámci evropského projektu AMSSTED (Advancing Mining Support Systems to Enhance the Control of Highly Stressed Ground, RFCR-CT-2013-00001).

V souvislosti s vysokým kotvením se autor podílel na vývoji, zavádění a patentování in-jektážní kotvy IR-5/IN, o níž bude v práci pojednáno a je autorem řešení různých indikátorů zatížení a doplňků pro provádění tahových zkoušek včetně jejich realizace.

Autor využíval i zkušenosti získané při svém předchozím zaměstnání u společnosti Green Gas DPB, a.s. v Paskově, kde působil (2009 až 2012) jako geomechanik, jehož hlavní náplní bylo zpracovávání posudků projektů protiotřesové prevence, kontroly jejich dodržování na pracovištích dolů OKD, a.s. a šetření případných důlních otřesů.

3. METODIKA ZPRACOVÁNÍ PRÁCE

Při řešení cílů disertační práce byly použity následující metody a přístupy:

1. Rešerše problematiky

Pro pochopení důvodů realizace a posouzení očekávaných účinků kotvení na stabilitu důlního díla je nutné znát teoretické základy problematiky. To spočívá ve zjištění a znalosti průběhu napjatosti v horninovém masivu, chování výztuže podzemních (důlních) děl ve vztahu k horskému masivu a časovém vývoji tohoto vztahu včetně ovlivňujících faktorů.

2. Teoretická analýza problému včetně technologií a možností monitoringu

Vhodné pojmenování problému, jeho popis, vnitřní rozbor, to vše vede ke správnému pochopení a návržení optimálního řešení. Výhodou je znalost i doprovodné problematiky. V případě kotvení, resp. kotvených konstrukcí, je důležitá znalost nejen funkce a prostředků kotvení jako takového, ale i vrtné techniky, předpínacích zařízení a prostředků monitoringu.

3. Analýza skutečného chování kotevních prvků a okolního masivu

Pro zjištění funkce a trvanlivosti předpětí bude provedeno měření jak in situ, tak i v řízených laboratorních podmínkách. Měření spočívá v zisku hodnot zatížení předpínatelných kotev MCA-M a pramencových kotev IR-6 různých délek v podmínkách vybraných důlních pracovišť pomocí dynamometrů nebo indikátorů zatížení. Měření konvergencí ukáže chování horského masivu a směry působících sil.

Laboratorní měření se skládá ze:

- a. zjištění míry vstupní hodnoty předpětí kotev a svorníků opatřených upínacím pouzdrem se závitem nebo závitem přímo na tyči,
- b. zjištění míry vstupní hodnoty předpětí kotev s kotevní objímkou včetně následných okamžitých ztrát pokluzem,
- c. zjištění míry relaxace předpětí v čase pomocí instalace lanové kotvy opatřené dynamometrem. V tomto případě půjde o simulaci a měření úbytků předpětí pouze na základě relaxačních vlastností lana kotvy.
- d. Vyhodnocení a zpracování výsledků

Z vyhodnocení a zpracování výsledků laboratorního měření bude stanoveno chování kotev v čase, tedy vnesená míra předpětí a jeho vývoj v určité době, vlivy na tento vývoj a možná opatření pro ovlivnění tohoto vývoje. Vyhodnocení dat a údajů z konkrétních pracovišť přinese informace o chování důlních děl s kotevními prvky v daných podmínkách. Na základě těchto vyhodnocení budou stanoveny návrhy opatření pro zefektivnění účinků a fungování vysokého kotvení.

4. NAPJATOST V OKOLÍ VÝRUBU

Vyražením podzemního díla dochází v jeho okolí k přeskupování a lokální koncentraci napětí. Velikost tohoto napětí je závislá na hloubce, vlastnostech okolních hornin, rozměrech a tvaru díla, případně na přítomnosti různých anomálií jako jsou například reziduální napětí a významné tektoniky. V případě důlních děl v uhelném hornictví vstupují do procesu navíc vlivy od současné nebo již v minulosti ukončené hornické činnosti. Napětíové pole podléhá proměnám v čase, dochází k postupné degradaci výztuže, časově závislým proměnám vlastností horského masivu a ovlivnění okolní, například již avizovanou hornickou, činností obecně.

V souvislosti s teoriemi porušování horského masivu si je nutno uvědomit, že v závislosti na poloze vůči výrubu a na výši napětí dochází v určitých místech na obvodu výrubu (ale i v jeho okolí) ke koncentracím napětí o hodnotě často i vyšší, než je vlastní pevnost horského masivu. Masiv se následně porušuje a hrozí zavalení díla. K tomuto faktu může negativně přispívat celková strukturně-tektonická stavba masivu a poloha podzemního díla vůči ní. Proto, aby jakékoliv podzemní nebo důlní dílo plnilo svou funkci po celou dobu své plánované životnosti, je nutno ho v takových podmínkách systematicky vyztužovat. Další podkapitoly ukazují

průběh napjatosti v okolí důlních děl kruhového a eliptického tvaru včetně míst s koncentracemi napětí. Obsahem kapitoly je i popis vzniku a vlivu plastické zóny v okolí důlního díla, podmínky porušení horninového masivu a spolupráce masivu a výztuže na základě Fenner-Pacherovy teorie.

Protože se předmětná disertační práce zabývá kotvením, je v teoretické části rozpracován i vliv kotvení na stabilitu výrubu jak krátkých, tak dlouhých kotevních prvků, zjištění dosahu vlivu předpětí v masivu pomocí metody konečných prvků (programové prostředí Phase²) a na základě analogie se Steinbrennerovou úlohou napjatosti pod rohem základu.

Pro důlní díla, ražená v mocných uhelných slojích, je od určité hloubky velmi aktuálním a ožehavým problémem bubření počvy. Jev je charakteristický vytlačováním hmoty z podloží díla do prostoru díla a zmenšováním jeho světlého profilu. Leckdy jsou tyto projevy naprosto dominantním jevem ve srovnání s konvergencí díla způsobené tlakem ze stropu nebo z boků.

5. KOTEVNÍ PRVKY POUŽÍVANÉ V ČERNOUHELNÝCH HLUBINNÝCH DOLECH V SOUČASNOSTI.

S postupem dobývání do stále větších hloubek doprovázených často obtížnými geologickými a geomechanickými podmínkami, bývá z důvodu zvýšených horských tlaků nutno standardní, běžně používanou, ocelovou obloukovou výztuž zesilovat pomocí dalších výztužných prvků tak, aby byla schopna plnit požadovanou funkci po celou dobu své návrhové životnosti. Mezi tyto zesilující prvky, resp. technologie, patří např. zpevňující injektáže nejen uhelné sloje, ale i okolního masivu, doplňkové použití tyčových svorníků a v neposlední řadě vysoké kotvení. Je třeba zmínit, že prostředky vysokého kotvení je možno použít i pro zcela jiné aplikace než jen jako systematické nebo místní zesilování důlní výztuže, např. pro zavěšení dopravní závěsné drážky.

5.1. Tyčové kotevní prvky

Tyčové kotevní prvky mají široké spektrum uplatnění v celé řadě odvětví jako je geotechnika, podzemní stavitelství, hornictví aj. V hornictví slouží nejčastěji jako plnohodnotný vyztužovací prvek při vedení důlních děl v samostatné svorníkové výztuži. Mají však i jiná využití, např. pro zpevnění uhelného pilíře v porubech nebo bocích důlních děl. Tyto prvky se používají výhradně lepené v celé své délce. Zalepení svorníku v celé své délce zajišťuje jeho izolaci od

korozivního působení podzemní vody a takto zalepené svorníky lze považovat za trvalou výztuž. Typickým používaným kotevním tmelem pro ukotvení svorníku ve vývrtu jsou chemické látky na bázi syntetických pryskyřic. Jedná se o vkládané dvousložkové polyesterové ampule s obchodním názvem Lokset. Výhodou tohoto typu tmele je rychlé dosažení finální pevnosti, vysoká přídržnost, odolnost proti dynamickému zatížení a odolnost proti korozivnímu působení prostředí.

5.2. Lanové a pramencové kotevní prvky s příslušenstvím

Lanové a pramencové kotevní prvky plní svou funkci a instalují se obdobným způsobem jako tyčové kotevní prvky. Jejich hlavním rozdílem je délka (obecně až desítky metrů), vyšší únosnost a použitý druh oceli. Při konstrukci podzemních nebo důlních děl velkých rozměrů nebo ve velkých hloubkách jsou napětíové podmínky v okolí děl náročnější a v případě primární porušenosti masivu hrozí uvolňování bloků podél přirozených odlučných ploch větších rozměrů. Proto se lanové nebo pramencové kotevní prvky používají zejména tam, kde by krátké tyčové prvky neměly dostatečnou délku a únosnost, a také v dílech o malých rozměrech, kde by tyčové prvky požadované délky v důsledku své tuhosti bylo obtížné nebo nemožné instalovat. Použití dlouhých kotev je velmi široké, používají se obdobně jako krátké prvky v geotechnice, podzemním a pozemním stavitelství a v hornictví.

V OKR se dlouhé kotevní prvky používají jako prostředek vysokého kotvení. Původně mělo vysoké kotvení sloužit jako náhrada střední stojky při zesilování podpěrné obloukové výztuže před postupujícím porubem. Předpokládá se, že kotva zvýší únosnost stávající výztuže přenesením části jejího zatížení do výše položených vrstev v nadloží, u nichž se předpokládá nízká nebo žádná míra porušení. Postupem času a v souvislosti zejména s vedením důlních děl v obtížných geologických a geomechanických podmínkách ale získaly prostředky vysokého kotvení i jiné využití. V současnosti se vysoké kotvení používá nejen jako náhrada střední stojky, ale i jako podpora ocelové výztuže důlního díla při odebrání bočního oblouku pro průjezd dobývacího kombajnu, pro zesílení boků (nebo jiných míst) ocelové obloukové výztuže při vysoké míře horizontálního zatížení, pro zesílení stropu chodeb vyztužených samostatnou svorníkovou výztuží, pro řešení havarijních situací, pro přechod přesmykových pásem aj.

V dalším textu předmětné kapitoly je pojednáno o funkci a vlastnostech tyčových prvků jako jsou ocelové svorníky APB-1, samozavrtávací injektážní kotevní tyče, sklolaminátové

svorníky a prvky vysokého kotvení jako lanové kotvy MCA-M, pramencové kotvy IR-6 i s jejich injektážní variantou v podobě kotev IR-5/IN.

6. INSTALACE KOTEVNÍCH PRVKŮ A JEJICH AKTIVACE

Instalace všech kotevních prvků je ve své podstatě identická a skládá se z několika fází:

1. vyvrtání vývrtu patřičné délky a průměru,
2. vtlačení patřičného množství kotevního tmele,
3. instalace kotevního prvku,
4. aktivace kotevního prvku,
5. případná injektáž.

Některé kotevní prvky se mohou tomuto postupu vymykat (tyčové svorníky s tzv. rozpěrnou hlavou nebo třecí svorníky), nebo mohou některé fáze být sloučeny např. u samozavrtávacích kotevních tyčí R nebo tyčových svorníků OneStep.

V současné době se pro provádění vrtných prací a instalace prvků vysokého kotvení a svorníkování nejčastěji používají vzduchová teleskopická vrtací zařízení Super Turbo Bolter (STB), která se napojují přímo na rozvod stlačeného vzduchu v potrubí nebo hydraulická sloupová zařízení VS-2 s elektrickým agregátem.

Délka vývrtu je stanovena předem daným projektem nebo podle znalosti místních poměrů v dané lokalitě. Průměr vývrtu musí odpovídat zvolenému kotevnímu prvku při zohlednění požadavku na rozměr mezikruží pro kotevní tmel.

Kotevní tmel se používá na uchycení kotvy nebo svorníku ve vývrtu. Po úplném ztuhnutí tmele je prvek plně funkční a únosný. Kotevní tmely se dělí podle své materiálové podstaty na tmely chemické nebo cementové a podle způsobu zavádění do vývrtu mohou být tmely vkládané jako ampule nebo čerpané. Kapitola se dále věnuje nedostatkům při tmelení kotevních prvků. Kotvení musí procházet určitou mírou kontroly, a proto se provádí průkazní a kontrolní tahové zkoušky.

Pro to, aby kotevní prvek správně fungoval, je nutné ho aktivovat. Aktivace je důležitá pro zajištění styku všech prvků a vnosu stabilizační síly do masivu. To se děje dvěma způsoby v závislosti na konstrukci kotevního prvku. Je-li prvek opatřen upínacím pouzdrem se závitem

nebo přímo závitem, probíhá aktivace dotažením matice. Pro prvky s kotevní objímkou se používají předpínací pistole nebo jiná hydraulická zařízení. Kapitola se zmiňuje o výši vstupního předpětí jednotlivých prvků a srovnání vypočtených hodnot vstupního předpětí s hodnotami naměřenými přímo v důlních podmínkách.

7. PROSTŘEDKY MONITORINGU PRO SLEDOVÁNÍ STAVU HORSKÉHO MASIVU A VÝZTUŽE

V horském masivu dochází v průběhu času ke změnám jeho struktury a vlastností. Od stavu masivu a jeho stavby se odvíjí volba typu výztuže, její požadovaná únosnost a následně i její další chování a funkce.

Existence změn v masivu a jejich příčiny jsou obecně známy, ale vzhledem k omezené schopnosti veškeré tyto možné změny adekvátně postihnout předem v projektech, je přítomnost a používání prostředků geotechnického monitoringu nezpochybnitelné a nezbytné. Monitoring slouží tedy nejen ke kontrole, ale i k postupné harmonizaci mezi projektem a skutečnou situací. Určité techniky monitoringu je však možno využít již pro samotnou projekční část.

V této kapitole budou podrobněji analyzovány různé technologie a jejich použití pro zjištění potřebných informací o stavu masivu, míře jeho porušení, pohybu masivu a sil v kotevních prvcích.

Horský masiv je přirozenou součástí všech důlních děl. Pro navrhování jejich výztuže je velmi důležité znát strukturu a stav okolního masivu. Z hlediska svorníkování a vysokého kotvení je naprosto nezbytné znát přesnou polohu a orientaci puklin, přirozených odlučných ploch a pozici méně soudržných a únosných vrstev jako jsou uhelné sloje nebo proslojky. Pro zjištění těchto vlastností slouží endoskopie nebo extenzometrie.

Síly v kotevních prvcích a jejich vývoj v čase, tj. zatížení, vnesené předpětí, následné ztráty, přetížení aj., se dají monitorovat dvěma základními způsoby. Přímá měření spočívají v přímém měření působící síly a nepřímá měření spočívají v měření nějaké jiné veličiny (nejčastěji deformace prvku), z níž se pak odvodí požadovaná hodnota působící síly. K měření sil v kotevních prvcích se používají dynamometry různých druhů, tlakové indikátory zatížení, magnetoelastické prvky a tenzometrické svorníky.

8. ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

Již při napínání kotevního prvku a poté i během jeho fungování dochází k určitým ztrátám vneseného předpětí. Ztráty mohou být způsobeny vlivem vlastností kotevního prvku, jeho samotné konstrukce a vlastnostmi okolního prostředí.

Obecně se ztrátami předpětí v konstrukcích zabývá ČSN 73 6207 Navrhování mostních konstrukcí z předpjatého betonu. Tato norma dělí ztráty předpětí podle způsobu jejich vzniku na ztráty způsobené:

1. třením předpínací výztuže – ztráta vzniklá vlivem tření lana o stěnu injektážního kanálku při zakřivení dráhy vedení lana nebo vlivem zakřivení lana,
2. pokluzem předpínací výztuže – zpětné vtažení čelistí s lanem do těla kotevní objímky po uvolnění napínacího zařízení,
3. pružným přetvořením rozpěry,
4. pružným přetvořením předpínaného betonu,
5. rozdílem teplot předpínací výztuže a rozpěry,
6. dotvarováním předpínací výztuže,
7. dotvarováním betonu,
8. smršťováním betonu.

V důlních podmínkách pro vysoké kotvení není nutné uvažovat se všemi možnými ztrátami. Jednotlivé lanové nebo pramencové kotvy jsou vedeny v rovných vývrtech bez zakřivení. Než se kotva i se zařízením pro předpínání dostane na pracoviště, dojde k vyrovnání teplot v obou prvcích. Kotvy jsou nejčastěji v délkách pouze 6-13 metrů a jejich napínání se děje maximálně na úroveň 30% meze kluzu. V kapitole se autor zabývá pouze ztrátami pokluzem, přetvořením podkladní horniny a dotvarováním (relaxací) kotev v čase. V této kapitole je i zmíněn vlastní výzkum a vyhodnocení měření relaxace v předepjatém laně a řešení ztráty pokluzem s návrhem na její redukci.

Kapitola je doplněna o vzorový výpočet ztrát lanové kotvy MCA-M a pramencové kotvy IR-6/ER o shodné délce 13 metrů.

9. CHOVÁNÍ VYSOKÉHO KOTVENÍ NA VYBRANÝCH PRACOVIŠTÍCH V DO- LECH OKD, a.s.

Pro zjišťování a hodnocení funkčnosti vysokého kotvení bylo vybráno několik důlních pracovišť. Pracoviště byla zvolena tak, aby byly pokryty různé možné podmínky, v nichž se vysoké kotvení běžně používá. Důlní závod 2 poskytl podmínky mocných slojí sedlových vrstev karvinského souvrství, zejména sloje č. 40. Razicí a dobývací práce zde probíhají v hloubkách mezi 1050 a 1200 metrů pod povrchem s ponecháním uhelné spodní lávky sloje v počvě a s častým výskytem vysokoenergetických seismologických jevů, potažmo důlních otřesů. Sloj č. 37a poskytla podmínky středně mocné sloje doprovázené velice pevnými pís-kovcovými a slepencovými nadložními vrstvami. Ty jsou současně i zdrojem vysokoenergetických seismologických jevů.

V ochranném pilíři jam Sever (DZ2) ve sloji č. 30 byl v roce 2013 zahájen zkušební pro-voz dobývací metody „chodba-pilíř“, jisté modifikace v zahraničí používané dobývací metody Room and Pillar. Tato metoda, resp. její aktuální modifikace, spočívá v dobývání ložiska po-mocí vedení sítě chodeb v samostatné svorníkové výztuži s ponecháváním zbytkových nosných pilířů přibližně kosočtvercového půdorysného tvaru. V místech odboček, křížů a jiných velko-rozměrových míst se samostatná svorníková výztuž doplňuje o pramencové kotvy. Vysoké kot-vení se zde používá i při řešení různých anomálních situací, jako například přechod přesmyku.

Důlní závod 1, lokalita Lazy dobývá mimo jiné ve slojích Max a Natan porubských vrstev ostravského souvrství. Tyto sloje se od slojí karvinského souvrství liší zejména svou nízkou mocností pohybující se kolem 1 metru a mnohem vyšším podílem uhlí, které je vhodné pro koksování. Zde se jedná konkrétně o chodbu č. 61 103 pro dvojí použití, tj. při dobývání prv-ního porubu se chodba nezavaluje a zachovává se i pro druhý porub. Při tom se mění způsob větrání – z úvodní chodby se stává výdušná. Chodby pro dvojí použití bývají pro své udržení pro druhý porub navíc speciálně zesíleny tyčovými svorníky a vysokým kotvením, mohou být využity i dřevěné hráně. Pro sledování chování nadloží jsou využity extenzometry.

Pro úplnost budou zmíněny ještě zkušenosti s použitím injektážních kotev IR-5/IN při zesilování důlních děl na celkem třech pracovištích, a to ve výchozí prorážce č. 332 269/2,3 na DZ2 ve sloji č. 33b, a na DZ1 v části základny 11 600A ve sloji č. 26 v. I. a v investiční ražbě č. 10 001.

10. NEŽÁDOUCÍ JEVY PŘI VYSOKÉM KOTVENÍ A NÁVRHY JEJICH ŘEŠENÍ.

Vysoké kotvení je jako každá jiná činnost doprovázena určitými nežádoucími jevy různého původu a druhu. Provádění vysokého kotvení je ovlivněno jak faktory přírodními (tektonicky porušený masiv, zvýšená seismologická aktivita), tak faktory lidskými (technologická nekázeň při ražbách, nedostatečně navržený projekt aj.). V následujících podkapitolách budou na základě zkušeností z důlních pracovišť tyto negativní jevy vysvětleny blíže.

10.1. Vedení ražeb se vznikem nadvýlomů.

Při ražbách v uhelných slojích dochází zároveň s řízeným porušováním hmoty řezným orgánem razícího kombajnu i k samovolnému porušování okolního masivu vlivem přeskupování a místních koncentrací napětí. Mohou být odhaleny nebo uvolněny dříve skryté odlučné plochy s následným odpadem horniny. Takto vzniklé prostory se stávají nebezpečnými nejen kvůli hromadění a potenciálnímu vzniku výbušné koncentrace metanu, ale také kvůli nezajištění správného a potřebného spolupůsobení obloukové a kotevní výztuže s ohledem na působící tlaky, u hlubokých dolů zejména směrem z počvy dovnitř důlních děl.

Důsledkem je pak uvolňování kotev ze stropnic a nadměrné deformace výztuže v důsledku jejího zatlačování do prostor nadvýlomů. Je zřejmé, že čím méně pevné horniny v počvě, tím negativnější dopad. To platí hlavně pro oblasti s vedením ražeb v mocných slojích, kde počvu důlních děl v horní lávce tvoří několik metrů mocná spodní lávka nebo podložní kořenový prachovec.

Negativní následky tohoto jevu se dají účinně omezit prováděním vyplňování vzniklých prostor pomocí horninové zakládky nebo pomocí cementových hmot čerpaných do vaků nebo rukávců.

10.2. Nevhodné propojení kotvy a stropnice

Spojení kotvy a ocelové obloukové TH výztuže se provádí pomocí stropnic z TH profilů. Ukazuje se však, že nevhodné provedení tohoto druhu spojení může být i zdrojem nežádoucích jevů, vedoucích až k předčasné destrukci kotev.

Při zatěžování obloukové výztuže dochází obecně k její deformaci. Výsledná deformace a její směr je úměrný velikosti a směru působícího zatížení, mechanickým vlastnostem výztuže, typu vzájemného spojení jednotlivých rámu a přítomnosti (nebo absenci) pasivního odporu

okolní horniny. Kotvy spojené se stropnicí mají však směr a místo svého předpokládaného působení zcela jednoznačně dán pozicí a úklonem vývrtu. Projekty předpokládají u kotev výhradně osové tahové zatížení, na jehož základě se daný konkrétní prvek podle své tahové únosnosti navrhuje. Předpokládá se souhlasně orientovaná deformace kotvy, stropnice a obloukové výztuže. Tento předpoklad není ale vždy splněn.

Skutečnost ukazuje často značný nesoulad ve vzájemných směrech deformací kotev, stropnic a výztuže. To vede ke kombinovaným namáháním všeho druhu, kde nejslabším článkem tohoto systému je vždy kotva. Zatímco kotva je pevně umístěna ve vývrtu, výztuž se pod zatížením deformuje různými směry spolu s připevněnou stropnicí. Pod tlakem dochází u poddajné obloukové výztuže nejprve k prokluzu ve spojích. Po vyčerpání možností prokluzu dochází pod zatížením k již nevratným deformacím, vybočování celých rámců z původní osy, lámání dílců, aj. Může docházet také k jevu, zejména u chodeb pro dvojí použití, kdy stropní horniny mají tendenci se pohybovat směrem do nově vytvářeného závalu prvního porubu, zatímco oblouková výztuž zůstává na místě.

U pramencových kotev následně dochází k poškozování upínacích pouzder nebo postupnému stříhání jednotlivých drátů o hranu upínacího pouzdra nebo okraj vývrtu. Obdobná situace je u lanových kotev, kdy k postupnému stříhání drátů až k úplnému utržení kotevní objímky dochází o hranu otvoru stropnice. U lanových kotev ve spojení se stropnicí UNI docházelo při překročení povoleného úklonu osy otvoru stropnice vůči ose kotvy k protahování válcové podložky s kotvou skrze otvor ve stropnici.

Řešením těchto skutečností se jako optimální jeví provedení kombinace současných postupů. Pramencové kotvy používat standardním způsobem, tj. přes stropnici s obloukovou výztuží a lanové kotvy instalovat a předpínat přímo na horninu. Pro použití stropnice ve spojení s kotvou IR-6/ER používat stropnici se speciálním zesíleným kruhovým výřezem a sférickou vložkou, umožňující všesměrný výkyv.

10.3. Nevhodné časování provedení kotvení

Vlastnosti a stav horského masivu se v čase vyvíjí. Je to dáno proměnlivostí napěťového pole v okolí důlního díla, podmínek, v nichž se masiv nachází a reologickými vlastnostmi daných hornin. Obecně lze říci, že s časem se podmínky a stav vyraženého díla zhoršují, masiv se

nakypřuje, rozvrstvuje, porušuje a degraduje. Všechny negativní faktory podstatně snižují výslednou funkci jakéhokoli kotvení. Pro krátké tyčové prvky plyne z těchto podmínek obtížné dosažení řádného ukotvení ve vývrtu pomocí tmele (únik do puklin), nedosažení pevné nadložní vrstvy pro přichycení níže položených vrstev, rychlá eliminace vneseného předpětí přetvářením narušeného masivu pod podložkou a nucený přenos vyšších zatížení než při masivu kompaktním. Obdobná negativa platí i pro dlouhé kotevní prvky. Pro uchycení kotvy do pevných, kompaktních poloh je nutno používat delší kotevní prvky a kvůli již nastanuvším pohybům hornin také prvky s vyšší únosností. V případě použití injektážních prvků je v porušeném masivu obtížné dosáhnout potřebného stupně proinjektování pro dosažení patřičného efektu zpevnění. Injektážní médium v rozrušeném masivu může volně proudit cestou nejmenšího odporu, tj. nejširšími puklinami neznámo kam a v nepřiměřených objemech. Stává se, že i přes veškeré úsilí bývá opožděně navržené řešení zcela neúčinné a prostředky na něj vynaložené jsou nenávratně ztraceny. Tento stav nastává nejčastěji při řešení havarijních situací, kdy všechny běžné prostředky (zhuštění TH výztuže, rovinové tahy, střední stojky aj.) selhaly. Nežádoucí výsledek může nastat i při dlouhé prodlevě mezi instalací injektážních kotev a samotnou injektáží. Během prodlevy dochází k pohybům v masivu, deformaci výztuže a s tím spojeným pravděpodobným poškozením kotvy a nemožnosti provedení injektáže.

Kotvení obecně je nutné provádět co nejdříve, ideálně s postupující čelbou, jak se dnes, zejména při ražbách výchozích prorážek, již děje. Na druhou stranu, čím déle je kotevní prvek nainstalován, tím více dochází k různým procesům v masivu, pozvolnému zvyšování zatížení výztuže a jejím deformacím. To vede k zatěžování kotevního prvku, jeho narůstající deformaci až k možnému zničení (s přihlédnutím k negativním jevům z předchozích bodů). Potom je nutná jeho náhrada nebo provedení jiného opatření, nejčastěji podepření výztuže daného místa pomocí individuální výztuže - stojek.

Jako vhodné opatření se tedy jeví systematická instalace kotevních prvků co možná nejdříve po vyražení důlního díla (ideálně s postupující čelbou) včetně případné injektáže a před nájezdem porubů mít vyhrazeny finanční prostředky na možnost opravy poškozených kotevních prvků jejich reinstalací. Práce musí být však zkoordinovány tak, aby nedocházelo k omezování náklizu a přípravy dobývací technologie do provozu.

10.4. Nedostatečně navržený projekt a nezajištění vstupních okrajových podmínek

Prorážky jsou při způsobu dobývání z pole obvykle vedeny podél význačných tektonik (přirozené hranice jednotlivých dobývacích ker) s přecházením jejich lokálních odnoží. To může mít za následek lokální zvýšení zatížení stávající výztuže působící prakticky okamžitě, i v podobě náhlého závalu v raženém díle. Vzhledem ke tvaru výztuže prorážek (profil SBR nebo ROV) je rovná stropní část namáhána mnohem více ohybovým momentem než rozměrově srovnatelná výztuž oblouková. Při daných rozměrech důlních děl není ocelová výztuž působící zatížení schopna sama přenést. Zesílení výztuže prorážek se musí proto provádět s co možná nejmenším odstupem od vyražené čelby. Skutečnost je však taková, že se vyrazí a vyztuží technologickým postupem stanovený úsek (podle podmínek 2–5 metrů), dobývací kombajn poté vycouvá z čelby a uvolní místo pro realizaci vysokého kotvení. Hydraulické stojky se staví maximálně po operační prostor kombajnu. To v praxi znamená, že okamžitě na čelbě spolupůsobí s výztuží pouze samotné kotvy, do daného úseku se podbudování hydraulickými stojkami dostane až s odstupem několika dní v závislosti na rychlosti postupu ražby. Není tak splněna podmínka současného působení všech podpůrných prvků zároveň, celé zatížení spočívá pouze na kotvách a ocelové výztuži. Při následném zatížení výztuže spočívá celá hmotnost rozvolněného nadloží (až 9 metrů podle zkušeností autora při provádění vysokého kotvení ve 40. sloji, 3. dobývací kře, DZ2) na ocelové výztuži a pouze na dvou, maximálně třech kotvách podle konkrétní etapy ražby. Pak dochází k trhání kotev (jev je navíc umocněn dalšími negativními aspekty, viz předchozí kapitoly) a zvýšené deformaci ocelové výztuže.

Vhodným opatřením je důsledná eliminace vzniku nadvýlomů nebo jejich okamžitá sanace ve spojení se změnou projektů ve smyslu zvýšení únosnosti stávající výztuže pouze pomocí kotev a úplné eliminaci individuální hydraulické výztuže.

10.5. Nedostatečný monitoring důlních děl

Důlní díla s přihlédnutím ke své krátké životnosti nejsou obecně objektem geotechnického monitoringu. V odůvodněných případech se měří konvergence chodeb, na základě technických standardů se chodby vedené v samostatné svorníkové výztuži nebo chodby na dvojí použití sledují pomocí extenzometrů. V rámci výzkumných projektů se používají i jiné prostředky (dynamometry na kotvách, tenzometrické svorníky, tlakové sondy aj.), viz projekt AMSSTED, ale při běžném provozu jsou ostatní metody geotechnického monitoringu neoprávněně opomíjené.

Pro potřeby vysokého kotvení je nutné znát působící síly v kotvách, pozici pevných kompaktních hornin pro potřeby volby vhodné délky kotev s umístěním kořene, vývoj nejen vertikálních, ale i horizontálních pohybů v masivu a pozici odlučných ploch. Síly v kotvách je možno měřit pomocí dynamometrů různého druhu nebo pomocí indikátorů zatížení

Kotvy se zabudovanými tenzometry jsou omezeny citlivostí kabelového vedení v těle kotvy na otěr při samotné instalaci a vzhledem k faktu, že tenzometry jsou integrální součástí kotvy, nejsou demontovatelné a znovupoužitelné. Vhodným řešením je použití příložných povrchových magnetoelastických prvků nebo soustavy tenzometrů na volnou část kotvy mezi stropnicí a stropem.

Rozsazování stropních vrstev a lokalizace odlučných ploch se měří nejčastěji pomocí dvoustupňových nebo třístupňových mechanických lankových extenzometrů. Měřené horizonty jsou určeny podle geologie a podle délky použitých kotevních prvků.

Je tedy zřejmé, že mezi měřenými horizonty mohou být i několikametrové rozdíly a není možno postihnout chování masivu detailněji. Jako vhodné opatření se jeví sonické extenzometry. Ty jsou tvořeny soustavou vzájemně nezávislých čidel, umístěných ve vývrtu v počtu až 20 ks, pružné sondy a odečítacího zařízení.

S vertikálními pohyby v masivu se nutně snoubí i pohyby horizontální. Stávající měření pomocí extenzometrů tyto pohyby zachycují, nicméně nejsou schopny je z celkového posunu stupnic odlišit. Pro zjištění výskytu smykových ploch by se jako vhodné řešení mohla používat metoda tzv. křehkých vodičů. Křehké vodiče jsou tvořeny soustavou různě dlouhých rovnoběžných vodičů zalitých v plastické hmotě a napojených na zdroj elektrického proudu. Tato soustava se umístí do vývrtu a zainjektuje. Při smykových pohybech dojde k porušení vodiče (vodičů). Místo porušení lze pak odvodit z vodiče, kterým neprochází proud.

Přesnější výsledky by mohla poskytnout klasická inklinometrie, tj. měření změn kolmosti vrtu. Zde by se daly již přímo odečíst velikosti horizontálních posunů a ve spojení s extenzometry by bylo možno naměřené hodnoty zcela jednoznačně odlišit.

Velmi jednoduchým a pouhým okem kontrolovatelným prostředkem pro zjištění, zda smykové posuny nastaly či nikoliv, je provedení neosazeného vývrtu délky 2-3 metry v blízkosti extenzometru. V případě, že dojde k uzavření vývrtu, nastaly v masivu horizontální pohyby.

10.6. Tuhost kotevních prvků

Spolupráce s ocelovou obloukovou výztuží, chování při působících zatíženích různých druhů a výsledná funkčnost kotvy, to vše je projevem celkové tuhosti kotvy. Celková tuhost kotvy je závislá nejen na průřezových a materiálových charakteristikách kotvy, ale také na její délce a samotné konstrukci.

V případě lanových kotev MCA-M s kotevní objímkou se jedná o relativně tuhý systém, kdy pod zatížením nejprve dosedne objímka na čelisti a poté se již kotva deformuje jen ve volné délce lana. Čelisti objímky při zatížení jsou tělem objímky tlačeny do lana a prokluz po laně neumožňují (nejsou-li čelisti silně zaneseny nečistotami). Jediná možná deformace je tedy dána protahováním a narovnáváním vinutých šroubovic jednotlivých drátů pramence lana.

Pramencové kotvy IR, jejichž zhlaví je tvořeno upínacím pouzdrem a vnitřním svěrným klínem, jsou oproti lanovým kotvám jako celek při stejné délce méně tuhé vzhledem k možnosti posunu pouzdra po svěrném klínu. Výhodou nižší tuhosti je vyšší odolnost proti dynamickému zatížení např. při seismologických jevech nebo důlních otřesech. Naopak nižší tuhost kotvy umožňuje vyšší deformaci kotvy a tím pádem také vyšší deformaci napojené TH výztuže.

Pro použití na horninu jsou výhodnější tužší kotvy lanové MCA-M, kdy jejich protažení při zatížení bude nižší a neumožní hornině větší míru nakypření. Dalším pozitivním přínosem je možnost vnosu mnohem většího předpětí než u kotev pramencových a vyčerpání i určité míry protažení již při předpínání.

10.7. Ztráty předpětí a jeho dosah

Při aktivaci, resp. předpínání kotevních prvků, dochází ke ztrátám ve vnesené síle do prvku. Druh a výše ztrát je dána způsobem aktivace (objímka s čelistmi nebo závit), vlastnostmi materiálu kotvy a okolním prostředím.

Kotvy s objímkou jsou předpínány pomocí předpínacích pistolí nebo lisů, předpětí zde činí stovky až tisíce kilonewtonů v závislosti na typu předpínacího zařízení. Ztráty u tohoto typu kotev jsou reprezentovány především ztrátou pokluzem a přetvářením horninového masivu pod roznášecí podložkou. Tyto krátkodobé ztráty mohou společně výslednou hodnotu předpětí snížit až o 50 % oproti síle napínací. Ztráta relaxací v čase je v tomto případě zcela zanedbatelná, opakované předepnutí neprokázalo výrazný vliv na výslednou relaxaci.

Kotvy, opatřené pouzdrem se závitem a maticí, lze pomocí běžných vrtacích a instalačních zařízení předpínat na úroveň řádově desítek kilonewtonů. Výsledná míra předpětí je přímo úměrná vyvolanému krouticímu momentu, a především tření na závitu mezi pouzdrem a maticí a na tření mezi jednotlivými prvky (matice, podložka). Vzhledem k vlastnostem metrických závitů není třeba uvažovat ztrátu pokluzem, zpětný posuv matice na závitu po uvolnění instalačního zařízení je u tohoto typu závitů téměř neměřitelný a zanedbatelný. Ostatní uvažované ztráty jsou identické s předchozím typem kotev.

Vhodným opatřením pro snížení ztrát předpětí je maximální snížení pokluzu u kotevních objímek jejich vhodnou konstrukcí. Pro zvýšení úrovně vstupního předpětí o míru předpokládaných ztrát je možné použít výkonnějších strojů jak pro vrtání a instalaci, tak pro předpínání. Nevýhodou tohoto řešení je zvýšená hmotnost takových zařízení a s tím spojená zvýšená obtížnost ruční manipulace s nimi, což je, především v prostorově stísněných důlních podmínkách, velkou nevýhodou.

Dosah předpětí v masivu se podle výpočtů rapidně snižuje s rostoucí vzdáleností od působení iniciační síly a jeho relevantní vliv lze proto považovat za omezený.

10.8. Nedostatky při samotné instalaci

Samotná instalace kotevních prvků, resp. její úspěch, se odvíjí od výsledku kombinace působení několika základních předpokladů a to:

- kvality a funkčnosti dopravených kotevních prvků,
- stavu důlního díla,
- celkové organizace práce, adekvátní strojní vybavenosti a zkušenosti pracovníků.

Lanové i pramencové kotvy se dopravují na pracoviště v současné době v otevřených kontejnerech. Každá kotva je stočena do kruhu nebo oválu. Tvar a velikost je dána možnostmi ohybu dané kotvy. V minulosti byly potíže s paměťovým efektem při rozbalování kotev typu IR s pramencem o tloušťce drátů 8 mm. Po rozbalení zůstávaly kotvy v prvním ohybu směrem od zaváděcího hrotu nevratně deformované, což vedlo k nemožnosti zavést takovou kotvu do vývrtu. Proto byly zavedeny kotvy s pramencem z drátů o průměru maximálně 7 mm, které tímto negativním jevem netrpí. Lanové kotvy MCA-M díky své konstrukci (vysoký počet drátů nízkých průměrů) tímto paměťovým efektem netrpí vůbec.

Při dopravě na pracoviště docházelo často k poškození konců lan MCA-M z důvodu nešetrné manipulace. Ta měla za následek nejčastěji roztřepení lana a tím znemožnění řádné instalace. Z tohoto důvodu se kotvy dopravují na jednotlivá pracoviště v otevřených kontejnerech. Kontejner je naplněn na povrchu a vyložen až na pracovišti, s kotvami v něm se v době mezi naložením a vyložením přímo zodpovědnými pracovníky již nemanipuluje. Pramencové kotvy vzhledem ke své jednoduché a robustní konstrukci tímto druhem poškození netrpí téměř vůbec.

Kotvy bývají někdy na povrchu dolu nebo na důlním pracovišti delší dobu vystaveny působení (mikro)klimatu nebo uhelného prachu. To má za následek rychlou povrchovou korozi. Ta není větším problémem u pramencových kotev, ale u lanových již problémem být může. Korozní produkty, které vznikají na jednotlivých drátech, resp. mezi dráty, lana MCA-M, způsobují zvětšování jeho celkového průměru. To ztěžuje nebo přímo znemožňuje nasazení předpínací pistole na kotvu a vnesení předpětí do kotvy. Dalším následkem může být i zanesení drážek čelistí korozními produkty v objímce při posunu objímky po laně při instalaci nebo předpínání a omezení nebo zabránění řádnému přilnutí čelistí k lanu. Objímka potom po laně lehce sjíždí a neklade zatížení odpor. Objímku se zanesenými čelistmi také nelze řádně předeprnout nebo předpětí drží pouze po omezenou dobu. V těchto případech je nutno objímku demontovat, lano a čelisti řádně očistit a instalaci i s předeprnutím provést znovu, případně objímku vyměnit za novou.

Samotná instalace kotevního prvku přináší jistá úskalí. Zde se jedná zejména o stav důlního díla a okolního masivu jako takového. Často bývá instalace prvku ztížena nadvýmlohem nad výztuží nebo původní výztuž byla podbudována výztuží menšího profilu. V obou případech může být vzdálenost otvoru v masivu od stropnice i několik metrů a je pak jen otázkou umu a trpělivosti pracovníků, zda se jim povede kotva v přiměřené době zavést. Druhým případem bývá silně porušený masiv v nejbližším okolí díla. Při vrtání bývá vrtné soutyčí svíráno, při jeho vytahování a zavádění do masivu různě blokováno, vychylováno apod. Při vytahování soutyčí z vývrtu dochází k borcení stěn vývrtu a nutnosti vývrt i vícekrát převrtávat a protahovat. Vhodným řešením je pak použití několikametrové (podle dosahu porušení) tenkostěnné plastové trubky jako výpažnice vrtu, přes kterou lze instalovat jak ampule, tak i samotnou kotvu. Počáteční úsek vývrtu pro zavedení trubky je nutno vrtat korunkou o větším průměru než pro původní vývrt. V případě lanových kotev lze trubku z vývrtu vytáhnout (demontovatelná objímka) a použít znovu, u pramencových kotev trubka ve vývrtu zůstává.

Práce na vysokém kotvení jsou běžně plánovány s ročním výhledem dopředu a průběžně upravovány. Naprosto běžné je provádění kotevních prací na několika pracovištích najednou, v případě výchozích prorážek probíhají práce s postupující čelbou, tj. v nepřetržitém provozu. Je proto nutné mít dostatečný počet pracovníků a dostatek strojů na pracovištích i v záloze náhradních. Běžným standardem jsou na 1 vrtací stroj minimálně 2 pracovníci, kdy jeden pracovník vrtá a druhý provádí pomocné a přípravné práce jako rozbalování kotev, chystání potřebného počtu ampulí, nastavování vrtných tyčí aj. Pro představu, vyvrtání vývrtu pro kotvu délky 13 metrů s její následnou instalací a předepnutím trvá zhruba 1 – 1,5 hodiny. Proto je pro kotvení zároveň s postupující čelbou např. prorážky mít na pracovišti alespoň 2 stroje a 4-5 pracovníků, aby v ranní směně pro údržbu stihli zakotvit vyražený úsek.

11. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

Hlavním cílem práce byl popis funkce vysokého kotvení v podmínkách hlubinných černouhelných dolů v OKR. Práce měla za cíl i ucelený pohled na v současnosti používanou kotevní a vrtnou techniku, metodiku provádění vysokého kotvení a svorníkování a vyhodnocení fungování této technologie s ohledem na různé podmínky nasazení. Součástí cíle bylo poukázat na omezení této technologie, chyby při jejím provádění a návrhy na jejich odstranění. Práce si kladla za cíl v neposlední řadě poukázat a vysvětlit rozpory mezi projekčními návrhy a následnou realizací s výslednou funkčností. Vzhledem ke vnosu počáteční hodnoty předpětí do kotevního prvku se práce zabývala skutečnou velikostí této hodnoty s následnými doprovodnými ztrátami.

Vysoké kotvení, jak již bylo na počátku práce řečeno, má jako svůj prvotní úkol podporu stávající ocelové obloukové výztuže s ohledem na přetížení od postupujících porubních front porubů. Slouží zároveň jako podpora výztuže při demontáži bočního oblouku pro průjezd kombajnu. Dříve se výztuž pro tyto účely zpevňovala pouze pomocí dřevěných nebo ocelových stojek. To mělo své negativní stránky zejména v obtížné manipulaci, ve snižování světlého průřezu důlních děl a v případě dynamického rázu nebo důlního otřesu docházelo také k jejich náhlému uvolňování a vážnému ohrožování pracovníků svým pádem. To vše bylo nahrazeno pomocí pramencových nebo lanových kotev spojených s výztuží pomocí stropnice. Po určité době došlo u vysokého kotvení také k jeho nasazování při jiných příležitostech jako je zajišťo-

vání úseků důlních děl v obtížných geologických podmínkách nebo při podpoře standardní výztuže důlních děl atypických a nadměrných rozměrů (výchozí prorážky, důlní provozovny, kříže).

Chování prvků vysokého kotvení a jeho vývoj odpovídají chování obklopujícího horského masivu. Nejdůležitějším prvkem pro funkčnost vysokého kotvení jako podpůrného prvku stávající ocelové výztuže je zajištění styku této výztuže s horninou pomocí jakýchkoliv dostupných prostředků (vaky s cementovou hmotou, zakládka, dřevěné klíny aj.).

Ve velkých hloubkách pod povrchem dochází v důsledku působení horských tlaků k výraznému bubření počvy, zejména je-li tato tvořena méně pevnými horninami jako uhlí nebo kořenový prachovec. Následkem tlaků směrem z počvy je výztuž postupně zatlačována do výlomů v okolí díla, výztuž pak není rovnoměrně a spojitě namáhána, působí různě umístěná bodová zatížení a absence pasivního odporu horniny ve volných, nezaložených úsecích umožňuje její výraznou deformaci nebo destrukci. Kotevní prvky se při zvedání uvolňují ze stropnic a neplní řádně svou funkci.

V případě chodeb pro dvojí použití je chodba vyztužena navíc pomocí krátkých tyčových svorníků nebo jiným vhodným opatřením. Po průjezdu prvního porubu se na stavu chodby projevívá vliv napětí od postupujícího porubu zvedáním počvy i s výztuží, případně deformacemi této výztuže, navíc dochází k horizontálním posunům nadložních vrstev směrem do závalu vzniklého za prvním porubem. Horizontální posuny vrstev doprovází smykové namáhání kotevních prvků ve stropu díla. K tomu se přidává smykové namáhání v důsledku posunu stropních vrstev vůči obloukové výztuži, s níž je kotva pevně spjata pomocí stropnice. Ve výsledku dochází k přetěžování kotev vlivem kombinovaného zatížení a jejich porušování. Je-li kotva umístěna přímo na horninu, je těchto negativních jevů částečně ušetřena.

Konvergenční měření ukazují obdobná chování chodeb i přes různé geologické podmínky. Relativně nevýrazné pohyby stropu (s výjimkou tektonicky nebo jinak porušených pásem) jsou doprovázeny výraznými, až několikametrovými pohyby počvy do důlního díla v případě počvy tvořené málo pevnými horninami nebo přímo uhelnou lávkou. Pokud je počva tvořena pevnými horninami, tento jev nastává omezeně, přesto však nastává i se všemi negativními vlivy na kotvení.

Důležitým vlivem je doba trvání zatěžování. V souvislosti s reologickými vlastnostmi hornin a také erozivním působením důlních vod a obecně vlhkosti na horninu i kotevní výztuž dochází k jejich postupné degradaci a oslabování. Koroze lan má navíc negativní vliv na spolupůsobení čelistí kotevní objímky a lana. Koroze lana při instalaci může vést k zanesení čelistí, snížení jejich adheze k lanu a pozvolnému sjíždění objímky pod působícím zatížením.

Extenzometrická měření ukazují míru rozvolňování masivu v čase. Dobývací a razicí práce jakéhokoliv druhu mají vliv na nárůst pohybů v masivu a v určitých případech dochází k významným pohybům i nad úrovní konce kotevních prvků vysokého kotvení. U stupnic jednoduchých mechanických extenzometrů nelze oddělit pohyby horizontální od vertikálních a změřené hodnoty tak jsou zkreslené. Je ale evidentní, že při přiblížení se porubní fronty zhruba na vzdálenost „L“ a menší k měřicímu místu začnou hodnoty pohybů strmě růst. To indikuje i potenciální nárůst působícího zatížení v kotvě.

Práce se zabývala také vlivem předpětí na horský masiv a jeho dosahem v závislosti na vzdálenosti od zdroje. Matematické modelování a analytický výpočet ukázaly, že vliv předpětí výrazně klesá se vzdáleností od zdroje a relevantní vliv má předpětí pouze v nejbližším okolí zdroje. V případě použití roznášecí podložky se vliv předpětí projevuje především v půdorysné ploše podložky. Mimo tuto plochu jsou vyvolané hodnoty výrazně nižší.

Bylo zjištěno, že na snižování vstupní hodnoty předpětí u lanových kotev s objímkou mají největší vliv (téměř 100 %) 2 krátkodobé faktory, a to velikost pokluzu kotevní objímky a okamžité pružné přetvoření horniny pod podložkou. První faktor se omezit dá pomocí úpravy vlastní konstrukce objímky, zcela eliminovat však nelze. Druhý faktor ovlivnit běžnými způsoby nelze, je to otázka geomechanických a reologických vlastností horninového masivu a jeho momentálního stavu. Samovolná relaxace předpětí v kotvě má oproti výše zmíněným dvěma faktorům absolutně zanedbatelný význam. Na základě zkoušek byly odvozeny matematické vztahy pro průběhy relaxace.

Pramencové kotvy svou konstrukcí neumožňují vnos tak vysokých hodnot předpětí při stávajících krouticích momentech vrtacích a instalačních zařízení jako kotvy lanové. Metrické závity však jsou schopny eliminovat hodnotu pokluzu v kotvě, a proto celkové procento ztrát je v případě stejných podmínek u pramencových kotev nižší. Avšak i přes veškeré ztráty je konečná hodnota předpětí u lanových kotev několikanásobně vyšší než u pramencových.

Důležitá je také volba kotevního prvku s ohledem na jeho celkovou tuhost, vyjádřenou pracovní-deformační charakteristikou. Pro instalaci prvků přímo na horský masiv je vhodnější používat tužší prvky s nízkou mírou průtažnosti, tedy lanové kotvy MCA-M, především z důvodu vnosu vyšší míry předpětí a snížení tak možnosti nakypřování horského masivu. Pro zvýšení podpůrné funkce ocelové výztuže pomocí spojení se stropnicí je naopak vhodnější používat méně tuhé, ale konstrukčně odolnější prvky, jako jsou například pramencové kotvy IR-6/ER.

12. ZÁVĚR

Vysoké kotvení prošlo za svou několikaletou existenci v černouhelném hornictví české části hornoslezské pánve poměrně razantním vývojem od pokusů s málo únosnými kotvami IR-4/B až po používání vysokoúnosných předpínatelných lanových kotev MCA-M nebo injektážních kotev IR-5/IN. Kotvy prošly vývojem jak v použitých druzích oceli, tak i v konstrukci samotné. Vypracována byla také metodika pro navrhování vysokého kotvení. Začínají se více konzultovat a srovnávat výsledky získané pomocí prostředků monitoringu. Výsledky z pracovišť již také naznačují jisté skutečnosti, jak v dobrém, tak i špatném slova smyslu.

V současné době a při znalosti omezeného počtu informací nemohla práce postihnout veškerá úskalí a neznámé oblasti při předpínání kotev a jeho vliv na chování horského masivu. Dalším pokračováním práce by bylo vhodné provést sofistikovanější matematické modelování dosahu vlivu předpětí.

Matematické modelování je cenným pomocníkem projektanta. Jeho výsledky jsou však silně omezeny zadanými vstupními hodnotami a splněním celé řady okrajových podmínek. Vzhledem k proměnlivosti horského masivu a řadě dalších působících vlivů je třeba přihlížet také ke zkušenostem projektanta a ke zkušenostem z dané oblasti. Pro další směřování práce by to znamenalo nezůstat pouze u matematického modelování, byť jakkoliv sofistikovaného, ale především o detailní srovnání chování kotveného a nekotveného masivu, nebo masivu kotveného s předpětím a kotveného bez předpětí.

Z čistě technického hlediska by bylo vhodné se zabývat praktickým vyřešením a zavedením monitoringu sil v kotvách do praxe pomocí metod rychlého odečtu hodnoty zatížení kotvy jednoduše snímatelným, technickým vybavením.

LITERATURA

- 1 - ALDORF, J. *Mechanika podzemních konstrukcí*. Ostrava: Nakladatelství VŠB-TU Ostrava, 1999. ISBN-80-7078-695-7
- 2 - PETROŠ, V. *Stav horského masivu neovlivněný hornickou činností*, Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1999, ISBN: 80-7078-720-1
- 3 - *Horninové svorníky kotvené pryskyřicí*. Minova Bohemia s.r.o., 2006
- 4 - PENG, S. *Coal mine ground control*. 2.vyd. John Wiley & Sons, Incorporated, 1986, ISBN: 0471821713
- 5 - HUTCHINSON, D. J. a Mark S. DIEDERICH. *Cablebolting in underground mines*. Vancouver: BiTech Publishers, 1996. ISBN-10: 0921095376
- 6 - TURČEK, P. a kol. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga group, s.r.o., 2005. ISBN 80-8076-023-3
- 7 - KLEPSATEL, F. a kol. *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. Bratislava: Jaga group, s.r.o., 2003. ISBN 80-88905-4-35
- 8 - PRUŠKA, J. *Podzemní stavby 10 : Návod pro cvičení*. Praha, ČVUT, 2000. ISBN: 80-01-02194-7
- 9 - *Tyčové svorníky typu APP, APG, APB*. Minova Bohemia s.r.o., 2012
- 10 - *Hilti OneStep self-drilling rock anchor system*. Hilti, 2007
- 11 - *Celozávitové kotevní tyče*. Minova Bohemia s.r.o., 2014
- 12 - *Tunneling and geotechnical systems*. GONAR - Systems International Ltd, 2016
- 13 - *Injektážní samozavrtávací kotevní tyče typu R a T*. Minova Bohemia s.r.o., 2011
- 14 - *Sklolaminátové kotevní tyče typu Rockbolt a příslušenství*. Minova Bohemia s.r.o., 2013
- 15 - *Technický standard č. 4/2011 technického ředitele OKD, a.s. – Navrhování a používání vysokého kotvení pro stabilizaci důlních děl*. OKD, a.s., 2011
- 16 - *Pramencové svorníky typu IR-6*. Minova Bohemia s.r.o., 2014
- 17 - *Lanový svorník MCA-M*. Minova Bohemia s.r.o., 2012
- 18 - *Zkušební protokol č. A-ZP-1892/12: Lanový svorník MCA-M – zkouška zatížením*. TECHNICKÉ LABORATOŘE OPAVA, akciová společnost, 2012
- 19 - *Injektážní pramencové svorníky IR-5/IN*. Minova Bohemia s.r.o., 2013
- 20 - *Stropnice TH29 kotvicí univerzální s válcovou podložkou*. Minova Bohemia s.r.o., 2013
- 21 - *Zkušební protokol č. A-ZP-2210/13: Stropnice TH29 kotvicí se závěsnými háky s vrtaným kotevním otvorem – zkouška zatížením*. TECHNICKÉ LABORATOŘE OPAVA, akciová společnost, 2013
- 22 - *Vrtací a svorníkovací souprava ABS-P Gopher*. Minova Bohemia s.r.o., 2010
- 23 - *Vrtací a svorníkovací souprava Super Turbo Bolter*. Minova Bohemia s.r.o., 2010
- 24 - *Vrtací a svorníkovací souprava Rib Bolter*. Minova Bohemia s.r.o., 2011
- 25 - *Vrtačka svorníkovací VS2*. Koexpro Ostrava, a.s., 2014
- 26 - *Ruční pneumatická vrtačka Turmag model FIV a FIV-HT*. Minova Bohemia s.r.o., 2010
- 27 - *Lepicí ampule LOKSET*. Minova Bohemia s.r.o., 2012

- 28 - ALAN A. CAMPOLI et al. *Gob and Gate Road Reaction to Longwall Mining in Bump-Prone Strata*. Report of Investigations 9445. United states department of the interior Bureau of mines, 1993.
- 29 - *Pokyny (pracovní pravidla) k vyhlášce ČBÚ 659/2004 Sb.* Ostrava: OKD, DPB, a.s., 2006
- 30 - PETROŠ, V. *Problematika důlních otřesů, dobývání uhlí v obtížných důlně geologických podmínkách: materiál pro rekvalifikační studium "Hornické inženýrství"*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1999. ISBN 80-7078-753-8.
- 31 - *Technický standard č. 1/2009 technického ředitele OKD, a.s. – Projektování a vyztužování porubních chodeb určených k dvojímu použití.* OKD, a.s., 2009
- 32 - *Zápis z fárání dne 3.10.2012 v ranní směně na Dole ČSM - chodba č. 300 291/1,* Minova Bohemia s.r.o., 2012
- 33 - *Zápis z fárání dne 19.11.2012 v ranní směně na Dole ČSM-Sever - chodba č. 300 291/1,* Minova Bohemia s.r.o., 2012
- 34 - Junker, M. *Gebirgsbeherrschung von Flözstrecken.* Essen: Verlag Glückauf, 2006. ISBN-10: 3773913532
- 35 - *Zápis z fárání dne 16.9.2015 v ranní směně na Dole Darkov - chodba č. 224 152,* OKD, a.s., 2015
- 36 - *Instrukce č. 7 – Pracovní pravidla pro použití samostatné svorníkové výztuže.* Ostrava: OKD, DPB, a.s., 1995
- 37 - *Technický standard č. 3/2012 technického ředitele OKD, a.s. – Aplikace svorníkové výztuže.* OKD, a.s., 2012
- 38 - HOBST, L. a J. ZAJÍC. *Kotvení do hornin.* Bratislava: SNTL, 1972. DT 624.023.94
- 39 - DRASTÍK, F. a kol. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu.* 2. vyd. Ostrava: Montanex, 2002. ISBN 80-85780-95-X
- 40 - *Předpínací pistole PP-17 s příslušenstvím.* Minova Bohemia s.r.o., 2012
- 41 - *Multistrand post-tensioning.* VSL International Ltd., 2002[online]. Dostupné z: <http://www.vsl.net>
- 42 - *OVM prestressing systems.* OVM, 2010[online]. Dostupné z <http://www.tensindo-ovm.com>
- 43 - *Dvoustupňové a třístupňové extenzometry řady TTW.* Minova Bohemia s.r.o., 2015
- 44 - ROZSYPAL, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice.* Bratislava: Jaga group, s.r.o., 2001. ISBN 80-88905-44-3
- 45 - *Ankerkraftmessgeber KN mit Manometer,* GLÖTZL Gesellschaft für Baumesstechnik GmbH, 2015[online]. Dostupné z <http://www.gloetzl.de>
- 46 - *Zkušební protokol č. A-ZP-2377/14: Jednostupňový indikátor zatížení pro pramenové svorníky.* TECHNICKÉ LABORATOŘE OPAVA, akciová společnost, 2014
- 47 - *Magnetoelastický dynamometr Dynamag.* Inset, s.r.o. 2016[online]. Dostupné z <http://www.inset.com>
- 48 - VÍTEK, Filip. *Výpočet předpjatého betonového nosníku.* Brno: VUT, 2013. Bakalářská práce, VUT, Fakulta strojního inženýrství, ústav automobilního a dopravního inženýrství
- 49 - RATAJ, M. *Development of Hi-Ten bolt in australian coal mines.*[online]. Dostupné z: <http://www.dsiminingproducts.com>
- 50 - www.okd.cz
- 51 - KLIMŠA, P. *Projekt protiotřesové prevence pro likvidaci porubu č. 401 309 ve 3. stupni nebezpečí důlních otřesů.* OKD, a.s. DZ2, 2015

- 52 - *Metodický postup GF/05/SL Kontinuální seismologické sledování v průběžné prognóze vzniku důlních otřesů na dolech v OKR.* Ostrava: OKD, DPB, a.s., 2005
- 53 - <http://www.dpb.cz/seismologicky-informacni-system-aktualne-registrovane-jevy/>
- 54 - KLIMŠA, P. *Zvláštní opatření proti otřesům pro přibírku chodby č. 401 349 ve 3. stupni nebezpečí důlních otřesů.* OKD, a.s. Důl ČSM, 2013
- 55 - KLIMŠA, P. *Projekt protiotřesové prevence pro vybavování a vedení porubu č. 401 311 ve 3. stupni nebezpečí důlních otřesů.* OKD, a.s. DZ2, 2015
- 56 - KLIMŠA, P. *Zvláštní opatření proti otřesům pro přibírku chodby č. 401 351 ve 3. stupni nebezpečí důlních otřesů.* OKD, a.s. DZ2, 2015
- 57 - KLIMŠA, P. *Zvláštní opatření proti otřesům, příloha technologického postupu pro vedení ražby č. 401 321 ve 3. st. nebezpečí důlních otřesů.* OKD, a.s. DZ2, 2015
- 58 - KLIMŠA, P. *Projekt protiotřesové prevence pro vedení ražby č. 401 341 ve 3. stupni nebezpečí otřesů.* OKD, a.s. DZ2, 2015
- 59 - KLIMŠA, P. *Zvláštní opatření proti otřesům pro vedení porubu č. 371 202 ve 3. stupni nebezpečí důlních otřesů.* OKD, a.s. DZ2, 2016
- 60 - KLIMŠA, P. *Zvláštní opatření proti otřesům pro vedení ražby č. 371 222 ve 3. stupni nebezpečí důlních otřesů.* OKD, a.s. Důl ČSM, 2013
- 61 - wvcoalassociation.wordpress.com
- 62 - *Technický standard č. 2/2012 technického ředitele OKD, a.s. – Dimenzování samostatné svorníkové výztuže dlouhých důlních děl obdélníkového a lichoběžníkového průřezu v podmínkách OKD, a.s.* OKD, a.s., 2012
- 63 - Korbel, J., Dvořák, P., Vochta, R.: *Zajištění stability nadloží při výskytu anomálních situací při vedení a udržování důlních děl v oblasti 30. sloje v OKD, Závod Důl ČSM, Sborník příspěvků 19. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horského masivu a stavebních konstrukcí, 27. - 28. 2. 2014,*
- 64 - *Zápis z kontrolní prohlídky dne 11.12.2013 v první směně na Dole Karviná, lokalitě ČSA - chodba č. 10 001,* OKD, a.s., 2013
- 65 - Krejsa, M. *Principy posuzování spolehlivosti stavebních nosných konstrukcí*[online]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/krejsa/studium/sbs_tema1.pdf
- 66 - *Sprawozdanie z badań nr BL-2/13-123 Badania kotwi typu MCA-M (rys. Nr 01/07/2013) przy obciążeniu dynamicznym.* Zespół Laboratoriów Badawczych i Wzorcujących GIG, Katowice, 2013
- 67 - *Sprawozdanie nr 06-163 Badanie odporności dynamicznej zespołu elementów kotwi wklejanych strunowych typu IR-4E/W wstrząsoodpornych.* Zespół Laboratoriów Badawczych i Wzorcujących GIG, Katowice, 2006
- 68 - *Zkušební protokol č. A-ZP-2224/1: Pramencový svorník IR-N/E – zkouška zatížením.* TECHNICKÉ LABORATOŘE OPAVA, akciová společnost, 2013
- 69 - *Zkušební protokol č. A-ZP-2102/14: Pramencový svorník IR-5/IN – zkouška zatížením.* TECHNICKÉ LABORATOŘE OPAVA, akciová společnost, 2013
- 70 - *Zkušební protokol č. A-ZP-1613/11: Pramencový svorník (DVP) – zkouška zatížením.* TECHNICKÉ LABORATOŘE OPAVA, akciová společnost, 2011
- 71 - *Zkušební protokol č. PZ - 037/14: Kotevní tyče R32 a R25 – zkouška zatížením.* TECHNICKÉ LABORATOŘE OPAVA, akciová společnost, 2014
- 72 - ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *ČSN 73 6207 Navrhování mostních konstrukcí z předpjatého betonu.* 1993. Praha.
- 73 - ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.* 2006. Praha.

- 74 - Útvar OPV DZ2
- 75 - Projekt RP DZ2
- 76 - Archiv OPV OKD, a.s.
- 77 - Fotoarchiv Minova Bohemia s.r.o.
- 78 - *Kotvicí stropnice TH29, typy: SPK-9D, SPK-9G*. Minova Bohemia s.r.o., 2011
- 79 - *Certifikát č. 1123/13/TLO: Prutové kotvy JMKS*. TECHNICKÉ LABORATOŘE OPAVA, akciová společnost, 2013
- 80 - *Násobič krouticího momentu NKM*. Koexpro Ostrava, a.s., 2008

SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ

- Dvořák, P., Mikošek, R.: Zvýšení stability uhelného boku v ražbách porubních chodeb, Sborník příspěvků 19. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horského masivu a stavebních konstrukcí, 27. - 28. 2. 2014, Ostrava
- Korbel, J., Dvořák, P., Vochta, R.: Zajištění stability nadloží při výskytu anomálních situací při vedení a udržování důlních děl v oblasti 30. sloje v OKD, Závod Důl ČSM, Sborník příspěvků 19. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horského masivu a stavebních konstrukcí, 27. - 28. 2. 2014, Ostrava
- Vochta, R., Dvořák, P.: Zabezpečení stabilizace důlních chodeb porubu č. 401 309 ve 40. sloji, 3. kře Závodu Dolu ČSM, lokalitě Jih. Sborník příspěvků 19. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horského masivu a stavebních konstrukcí, 27. - 28. 2. 2014, Ostrava
- Dvořák, P., Vochta, R.: Stabilizace důlních chodeb porubu č. 401 309 ve slojovém komplexu 39a. a 40. sloje, ve 3. kře Závodu Dolu ČSM, lokalitě Jih. Sborník příspěvků 5. Mezinárodního geomechanického a geofyzikálního kolokvia, 24. - 27. 6. 2014, Ostrava, Karolínka
- Golasowski, J., Dvořák, P., Vochta, R., Mikoláš, M.: Možnosti využití uhelných zásob blokováných ochrannými pilíři, sborník příspěvků z mezinárodní konference Nová surovinová politika - progresivní technologie v hornictví, geologii a životním prostředí, 13. - 14.11.2014, Demänovská dolina, Slovenská republika
- Golasowski, J., Dvořák, P., Vochta, R., Mikoláš, M., Hudeček, V.: Dobývací metoda „chodba-pilíř“ v OKD, a.s., České republice. Sborník příspěvků z 14. mezinárodní konference SGEM, 17. - 26.6.2014, Albena, Bulharsko
- Dvořák, P., Vochta, R., Korbel, J., Golasowski, J.: Přejít přesmykového pásma dobývací metodou chodba – pilíř, Sborník příspěvků 20. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí, 18. - 19.2.2016, VŠB-TU Ostrava
- Dvořák, P., Mazal, L., Sembol, Z.: Zajišťování vyražených důlních děl při zhoršených geologických podmínkách, Sborník příspěvků 20. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí, 18. - 19.2.2016, VŠB-TU Ostrava

- Dvořák, P.: Návrh a zhodnocení vlivu předpínatelných lanových kotev na stabilitu konstrukcí z hlediska časového vývoje. Konference „OVA '16 Nové poznatky a měření v seizmologii, inženýrské geofyzice a geotechnice“ 12. - 14.4.2016, Ústav Geoniky AV ČR, v.v.i. Ostrava
- Dvořák, P., Slabák, R.: Kotvení tlačné stolice v podmínkách severočeských hnědouhelných dolů, Sborník příspěvků 22. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí, 16. - 17.2.2017, VŠB-TU Ostrava
- Dvořák, p., Golasowski, J., Korbel, J.: Dosavadní poznatky ze zkušebního provozu nové dobývací metody chodba - pilíř v podmínkách OKR. Sborník příspěvků 22. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí, 16. - 17.2.2017, VŠB-TU Ostrava
- Dvořák, P., Mazal, L., Sembol. Z.: Řešení výchozí prorážky v nízkých slojích dobývaných s mechanizovanou výztuží. Sborník příspěvků 22. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí, 16. - 17.2.2017, VŠB-TU Ostrava
- Čada, P., Dvořák, P. et al.: Doświadczenia z eksploatacji pokładu węgla systemem komorowofilarowym w kopalni „ČSM“ w Czechach. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Miesięcznik Wyższego Urzędu Górniczego, 2017,1,3-10, ISSN 2081-4224
- Dvořák, P.: Návrh a zhodnocení vlivu předpínatelných lanových kotev na stabilitu konstrukcí z hlediska časového vývoje. Konference „OVA '17 Nové poznatky a měření v seizmologii, inženýrské geofyzice a geotechnice“ 4. - 6.4.2016, Ústav Geoniky AV ČR, v.v.i.
- Dvořák, P.: Zkušenosti z injektáže výchozí prorážky č. 61 904 ve sloji Max na Důlním závodě 1, lokalitě Lazy. Sborník příspěvků 23. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí, 15. - 16.2.2018, VŠB-TU Ostrava
- Dvořák, P., Korbel, J.: Dosavadní zkušenosti z použití samostatné svorníkové výztuže v podmínkách OKR, Sborník příspěvků 23. Mezinárodního semináře Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí, 15. - 16.2.2018, VŠB-TU Ostrava
- Dvořák P.: Activation of Threaded Bolting Elements. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2017, 9(1S), 1-11.
- DVOŘÁK, P. et. al.: Tříkilometrový překop v tisícimetrové hloubce. Tunel, 4/2017, 43-48 ISSN 1211-0728, 43-48
- Dvořák, P.: Návrh a zhodnocení vlivu předpínatelných lanových kotev na stabilitu konstrukcí z hlediska časového vývoje. Workshop doktorandů 2017, 5.12.2017, Ústav Geoniky AV ČR, v.v.i.
- Dvořák, P., Jiráňková, E.: Effects on the final intensity of input forces in longbolts installed at the mining operation 2 area, OKD, Inc. Acta polytechnica, 2018, 5/2018, No 5 (Vol 58)

